

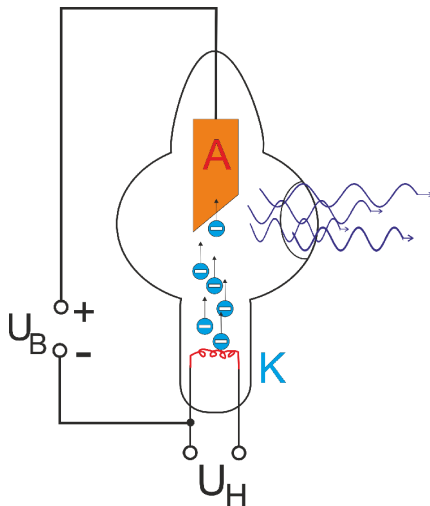
Die Röntgenröhre

Zur Geschichte:

Wilhelm Konrad Röntgen (1845-1923) entdeckte die Röntgenstrahlung bei einem Experiment mit sehr schnellen Elektronen im Jahre 1895.

1901 bekam er daraufhin den ersten Nobelpreis für Physik und bis heute ist seine Entdeckung eine erhebliche Bereicherung im medizinischen Bereich der Diagnostik.

Zum Aufbau:



-Aufbau befindet sich in einem evakuierten Glaskolben.

-Unten befindet sich eine Glühkathode, die an einer Heizspannung angeschlossen ist.

-Kathode und Anode sind an eine Spannungsquelle angeschlossen, wodurch sich zwischen den beiden Bestandteilen ein E-Feld ausbildet.

Funktion:

Die Glühkathode emittiert Elektronen, die im E-Feld zwischen Kathode und Anode zur Anode hin beschleunigt werden. Die Elektronen treffen auf das Anodenmaterial und werden schlagartig abgebremst, wodurch es zur **charakteristischen Strahlung** und zur **Bremsstrahlung** kommt. Die Beschleunigungsspannung liegt in unserem Fall bei 5-35 kV, klinisch werden aber auch 150-200kV benutzt.

Zur Bremsstrahlung:

Die Elektronen werden beim Auftreffen auf das Anodenmaterial abgebremst, dabei ist das Maß der Abbremsung davon abhängig, wie das Elektron auf die Materialstruktur trifft. Dabei gibt das Elektron seine kinetische Energie ganz oder teilweise ab. Nach dem Energieerhaltungssatz wird die kinetische Energie in Wärmeenergie E_Q und Strahlungsenergie E_{phot} umgewandelt.

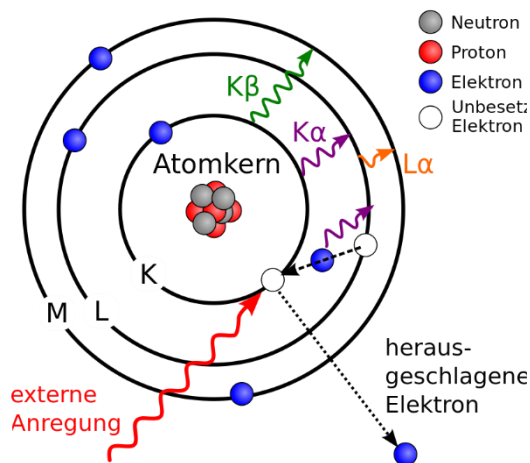
► Es gilt also: $E_{\text{kin}} = E_Q + E_{\text{phot}}$

► $E_{\text{kin}} = E_{\text{el}}$

► $\frac{1}{2} m \cdot v^2 = e \cdot U$

Die maximale Energie der Röntgenstrahlung ist also abhängig von der Beschleunigungsspannung.

Zur charakteristischen Strahlung:



Die beschleunigten Elektronen können auch in das Atom des Anodenmaterials eindringen. Es schlägt dann ein kernnahes Elektron des Atoms raus, wodurch ein Elektronenloch entsteht.

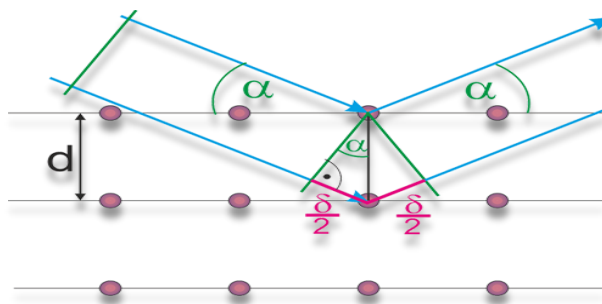
Dieses Elektronenloch wird von einem kernferneren Elektron gefüllt, dabei fällt das füllende Elektron von einem höheren auf ein energetisch niedrigeres Niveau.

Die Energiedifferenz wird in Form von Strahlung freigesetzt.

Je weiter das lochausfüllende Elektron vom Loch entfernt ist, desto höher ist die Energiedifferenz bei einem Sprung, wodurch eine kleinere Wellenlänge emittiert wird. Diese Energie addiert sich mit der Energie der Bremsstrahlung.

Wiederholung BRAGG-Reflexion:

Um das Röntgenspektrum auf Frequenz und Wellenlänge untersuchen zu können, ist die BRAGG-Reflexion von Bedeutung.



-Eine Wellenfront wird nur an den Atomen der Gitterstruktur reflektiert, wobei der untere Teil einer Wellenfront auch weiter in das Material eindringen kann, bis sie an einem Atom reflektiert wird.

-Die reflektierten Strahlen interferieren miteinander. Sie interferieren konstruktiv, wenn der Gangunterschied ein ganzzahliges

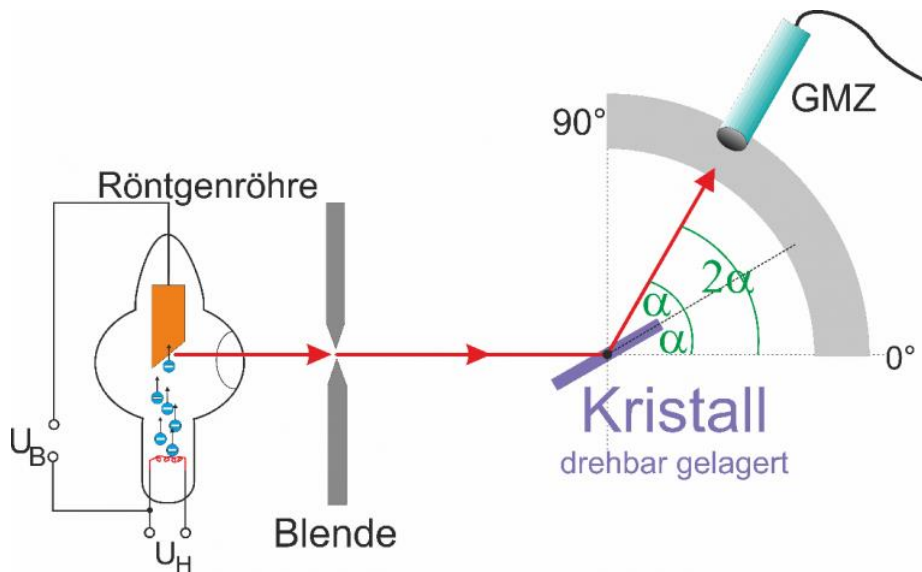
Vielfaches der Wellenlänge ist.

▶ $\delta = n \cdot \lambda$

▶ $\delta = 2 \cdot d \cdot \sin(\alpha)$

▶ $n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin(\alpha)$

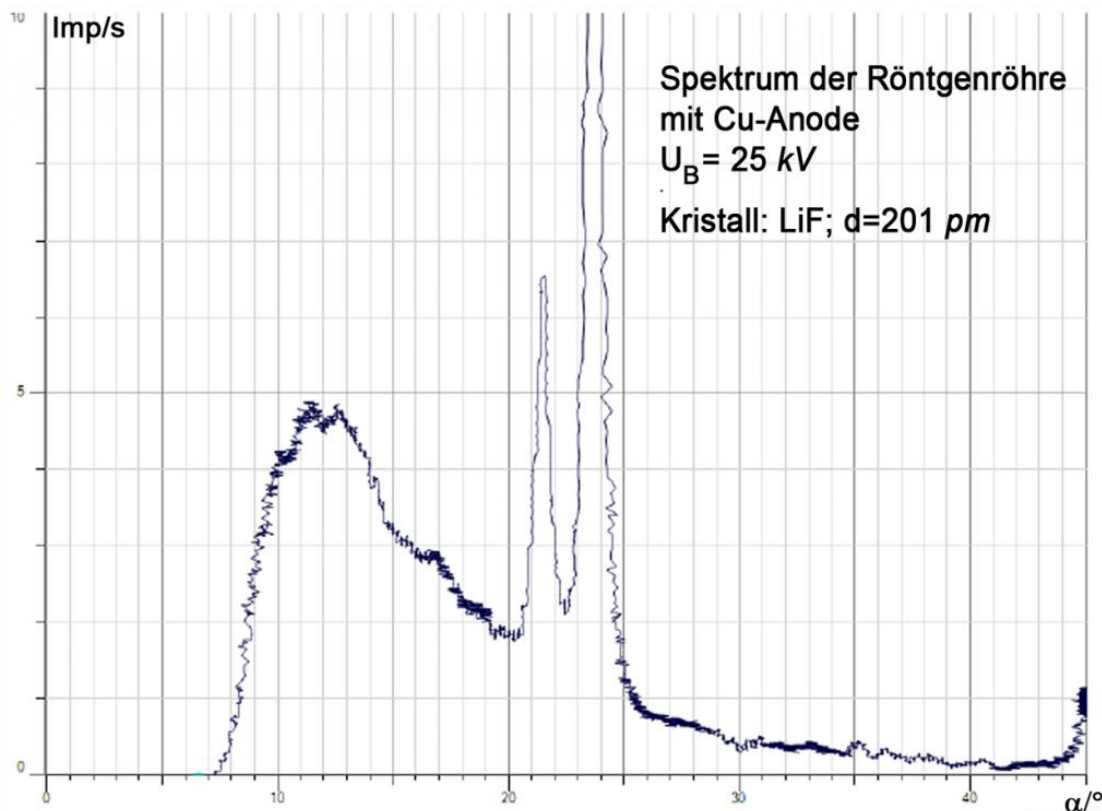
Untersuchung des Röntgenspektrums:



An der Röntgenröhre wird eine Beschleunigungsspannung von 25kV angelegt. Die emittierte Röntgenstrahlung wird nun durch eine Blende auf einen Lithium-Fluorid-Kristall gerichtet. Die Strahlung wird an den Netzebenen des Kristalls zu einem Geiger-Müller-Zählrohr hin reflektiert. Der Kristall ist drehbar gelagert und kann Winkel von $3^\circ - 45^\circ$ annehmen. Das Geiger-Müller-Zählrohr von 6° bis 90° . Dabei wird nur die Strahlung vom GMZ erfasst, die nach der BRAGG-Reflexion konstruktiv interferiert.

Nun messen wir für jeden Winkel von $3^\circ - 45^\circ$ die Strahlungsintensität abgetragen.

Ergebnis:



Ab $7,2^\circ$ steigt die Messkurve bis ca. $12,5^\circ$, danach ist ein kontinuierlich abnehmendes Spektrum zu erkennen. Dies ist das Bremsspektrum. Das Bremsspektrum hat immer ungefähr den gleichen Verlauf, auch bei anderen Anodenmaterialien.

Hierbei wird immer ein Photon einer bestimmten Wellenlänge in der Röntgenröhre erzeugt:

$E=h \cdot f$ -> (Vortrag h-Bestimmung)

$$f=c/\lambda$$

Die Größtmögliche Energie wird bei der kleinstmöglichen Wellenlänge frei, dabei schauen wir uns im Spektrum die kurzwellige Grenze an und berechnen ihre Wellenlänge, Frequenz und Energie.

Beispielrechnung:

$$n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin(\alpha)$$

$$\lambda = \frac{2 \cdot d \cdot \sin(\alpha)}{1}$$

$$\lambda = \frac{2 \cdot 201 \text{ pm} \cdot \sin(7,2)}{1}$$

$$= 50,4 \text{ pm}$$

Hierbei Rechnen wir mit der ersten Ordnung ($n=1$), da wir für jeden Winkel den ersten Glanzpunkt der interferierten Strahlen einer bestimmten Wellenlänge bei einem bestimmten Winkel anschauen.

$$f=c/\lambda$$

$$= \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{50,4 \text{ pm}}$$

$$= 5,95 \cdot 10^{18} \text{ Hz}$$

Die Kurzwellige Grenze des Spektrums hat also eine Wellenlänge von 50,4pm und eine Frequenz von $5,95 \cdot 10^{18} \text{ Hz}$...

$$E=h \cdot f$$

$$= 4,12 \cdot 10^{-15} \text{ eVs} \cdot 5,95 \cdot 10^{18} \text{ s}^{-1}$$

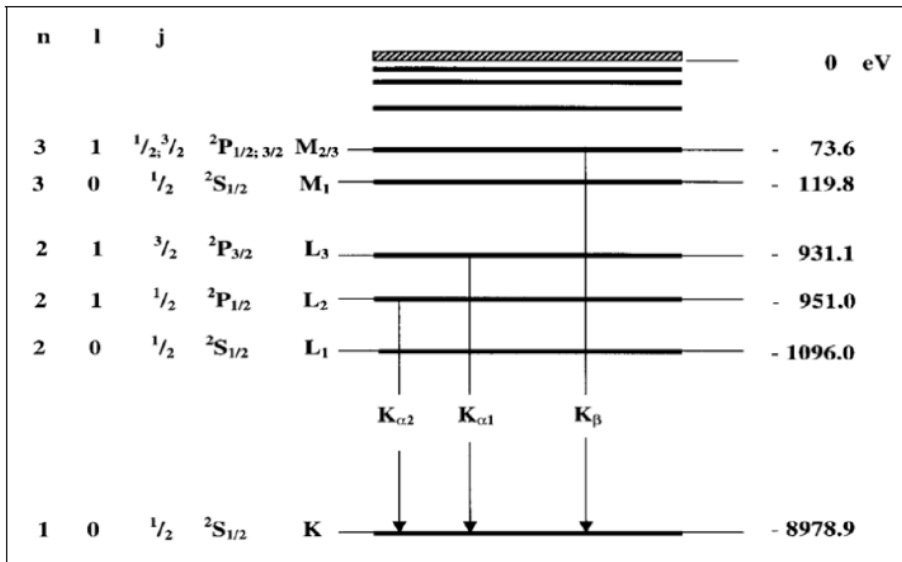
$$= 24633 \text{ eV}$$

...und eine Energie von 24633 eV. Diese entspricht beinahe der Beschleunigungsenergie von 25000eV.

Diese Rechenkette zur Bestimmung aller nötigen Parameter kann nun analog für jeden Winkel wiederholt werden.

Charakteristische Peaks:

Bei den beiden Peaks bei $\sim 20,4^\circ$ und $\sim 22,7^\circ$ handelt es sich um die charakteristische Strahlung. Diese charakteristische Strahlung ist, wie der Name schon suggeriert, für jedes Anodenmaterial spezifisch und somit charakteristisch. Bei den beiden Winkeln wird die Energie dieser Strahlung mit der Energie der Bremsstrahlung addiert.



Der erste Peak ist energiereicher, da dieser bei einem geringeren Winkel gemessen wird und somit eine kleinere Wellenlänge aufweist. Wie schon erwähnt ist eine weitere Entfernung der Schalen mit einer höheren Energiedifferenz gleichzusetzen.

Somit muss es sich bei dem ersten Peak um einen K β -Sprung handeln.

Der zweite Peak ist energieärmer und muss somit ein K α -Sprung handeln. Jedoch ist es mit unseren Mitteln nicht genau möglich zu differenzieren, ob es der erste oder der zweite K α -Sprung ist, da die Energiedifferenz zwischen den beiden Sprüngen Verhältnismäßig zu klein ist, um dies mit unseren Mitteln genau nachzumessen.